



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

FRÉZOVACÍ NÁSTROJE ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

MILLING TOOL MADE FROM CEMENTED CARBIDE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Petr HAVRAN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student: Petr Havran

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Frézovací nástroje ze slinutých karbidů

v anglickém jazyce:

Milling Tools Made from Cemented Carbide

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Teorie frézování.
2. Rozdělení frézovacích nástrojů.
3. Nástroje ze slinutých karbidů.
4. Výběr nástrojů z katalogů výrobců.
5. Porovnání parametrů nástrojů.
6. Diskuze.
7. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Přehledná rešerše o frézovacích nástrojích. Znalost světových výrobců nástrojů.

Seznam odborné literatury:

1. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
2. PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.
3. SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. P. 730. ISBN 0-07-146271-6.
4. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
5. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 28. 11. 2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na vývoj frézovacích nástrojů ze slinutých karbidů. V první části je popsána teorie frézování, která je nezbytná ke stanovení frézovacích parametrů. V další části je obsaženo rozdělení samostatných frézovacích nástrojů ze slinutých karbidů, jejich použití, výhody a nevýhody. V poslední části se nachází výběr nástrojů z katalogů světových firem a celkové zhodnocení.

Klíčová slova

Frézování, slinuté karbidy, nástroje pro frézování, fréza, obrobek

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the development of cutting tools made of cemented carbides. The first part describes the theory of milling, which is necessary to determine the milling parameters. The next section contains an independent division of milling cemented carbide tools, their uses, advantages and disadvantages. The last part is the selection of tools from the catalogs of the world's businesses and overall assessment.

Key words

Milling, cemented carbide, milling tools, milling cutter, workpiece

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVRAN, P. *Frézovací nástroje ze slinutých karbidů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Frézovací nástroje ze slinutých karbidů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

30. 5. 2014

Datum

Petr Havran

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT Brno za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Svým rodičům, díky kterým mi bylo umožněno studium na VUT v Brně.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 TEORIE FRÉZOVÁNÍ.....	10
1.1 Základní vztahy pro frézování	11
1.1.1 Řezná rychlost.....	11
1.1.2 Otáčky vřetene	11
1.1.3 Posuv na zub	11
1.1.4 Posuv na otáčku	11
1.1.5 Rychlost posuvu.....	12
1.2 Způsoby frézování	12
1.2.1 Frézování válcové	12
1.2.2 Frézování čelní.....	13
1.2.3 Frézování okružní	14
1.2.4 Frézování planetové	14
2 ROZDĚLENÍ FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ.....	15
2.1 Základní rozdělení fréz	15
2.2 Upínání nástrojů.....	17
2.2.1 Upnutí fréz pomocí kužele.....	17
2.2.2 Tepelné upínače	17
2.2.2 Upínače ColdSet	18
2.2.3 Hydraulický upínač TENDO	18
2.2.4 Polygonální upínací systém TRIBOS	18
2.2.5 Hydraulické upínače CoroGrip	19
2.3 Označování nástrojů	20
2.3.1 ISO systém značení nástrčných fréz s VBD	20
2.3.2 ISO systém značení stopkových fréz s VBD	21
3 NÁSTROJE ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ.....	22
3.1 Historický vývoj slinutých karbidů.....	22
3.2 Výroba slinutých karbidů.....	23
3.3 Nepovlakované slinuté karbidy	23
3.3.1 Rozdělení a značení	23

3.3.2	Výroba prášků.....	24
3.3.3	Lisování polotovarů	24
3.3.4	Slinování	25
3.4	Povlakované slinuté karbidy	25
3.4.1	Metody povlakování	26
3.4.2	Vlastnosti povlaků	28
3.4.3	Diamantové povlaky	29
3.4.4	Povlaky KNB	30
3.4.5	Zkoušení povlaků.....	30
4	VÝBĚR NÁSTROJŮ Z KATALOGŮ VÝROBCŮ	31
4.1	Frézovací nástroje firmy SADVIK COROMANT	31
4.2	Frézovací nástroje firmy PRAMET TOOLS	34
4.3	Frézovací nástroje firmy SECO TOOLS	36
5	POROVNÁNÍ PARAMETRŮ NÁSTROJŮ.....	38
6	DISKUZE	39
7	ZÁVĚR	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	43
	SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

Frézování patří k jedné z nejvíce využívaných metod obrábění společně se soustružením. V dřívějších dobách, kdy nebyla tak rozšířená možnost automatizace, se na konvenčních frézkách obráběly především skříňové a rovinné součástky. V této době, kdy je na trhu nepřehledné množství CNC strojů, ať už tří či víceosých, je možné obrábět i součásti rotačního charakteru.

Uplatnění CNC strojů je v dnešní době neodmyslitelnou součástí strojírenského průmyslu. Tyto stroje jsou konstruovány na vysoké řezné a posuvové rychlosti, čímž se výrazně snižují strojní časy. Tím, že se používají vysoké řezné a posuvové rychlosti, jsou kladeny vysoké nároky na nástroje. Nástroje jsou zde frézy, což jsou vícebřité nástroje, které jsou konstruovány nejčastěji ze slinutých karbidů.

Nabídka frézovacích nástrojů současnými dodavateli je velice obsáhlá. Často užívanými jsou nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD). V této práci se budu zabývat nástroji s VBD, které jsou určeny pro frézování do rohu.



Obr. 1 Nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami firmy PRAMET [7]

1 TEORIE FRÉZOVÁNÍ

Frézování patří mezi metody třískového obrábění, kde hlavní řezný pohyb koná nástroj (fréza) a vedlejší pohyb (přisuv) koná obrobek, který je upnut buďto ve svěráku, který je upnut na stole frézky, nebo obrobek může být upnut přímo na samotném stole frézky. Frézovací stroj se nazývá frézka a nástroj, kterým se obrobek obrábí, se nazývá fréza. Fréza je zpravidla vícebřitý nástroj, který má břity buďto na obvodě (válcová fréza), nebo na obvodě a zároveň čele viz obr. 2. Dle těchto druhů fréz rozeznáváme frézování válcové a frézování čelní.

Frézování probíhá většinou ve třech osách X, Y, Z. Osa Z, je zpravidla osa nástroje a osy X a Y jsou osami stolu. Kombinací těchto tří os lze docílit požadované geometrie a rozměrů zadaného obrobku.

Fréza, která koná hlavní řezný pohyb, odebírá z povrchu obrobku proměnlivý průřez třísky. Tím, že zuby frézy nejsou ve stálém záběru, vznikají při obrábění rázy, které ovlivňují plynulost a chod stroje. Díky tomuto afektu je třeba dbát na volbu vhodného stroje pro případné použití. Frézka by měla být dostatečně tuhá, výkonná a odolná proti rázům vzniklým při obrábění.

Technologii frézování lze rozdělit dle smyslu otáčení nástroje vůči pohybu obrobku. Pokud se nástroj otáčí ve směru pohybu obrobku, nazýváme ho frézováním sousledným, a když se obrobek pohybuje proti směru otáčení frézy, jedná se o frézování nesousledné.



Obr. 2 Čelní fréza s VBD firmy Sandvik Coromant [3]

1.1 Základní vztahy pro frézování

1.1.1 Řezná rychlost

Řezná rychlost v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) je počet otáček nástroje za minutu. Řezná rychlost je dána vztahem [1]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D [mm] - řezný průměr frézy,
 n [min^{-1}] - otáčky frézy.

1.1.2 Otáčky vřetene

Otáčky vřetene n (min^{-1}) označují obvodovou rychlost, kterou břit opracovává obrobek. Otáčky vřetene jsou popsány následujícím vztahem [1]:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (1.2)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr frézy,
 n [min^{-1}] - otáčky frézy.

1.1.3 Posuv na zub

Posuv na zub f_z (mm) označuje dráhu, kterou urazí obrobek za dobu záběru jednoho zubu frézy. Posuv na zub je dán tímto vztahem [1]:

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (1.3)$$

kde: v_f [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - posuvová rychlost,
 z [-] - počet zubů frézy,
 n [min^{-1}] - otáčky frézy,
 f_z [mm] - posuv na zub.

1.1.4 Posuv na otáčku

Posuv na otáčku f_n (mm) označuje dráhu, kterou urazí obrobek během jedné otáčky frézy. Posuv na otáčku je možné vyjádřit tímto vztahem [1]:

$$f_n = f_z \cdot z \quad (1.4)$$

kde: z [-] - počet zubů frézy,
 f_n [mm] - posuv na otáčku,
 f_z [mm] - posuv na zub.

1.1.5 Rychlost posuvu

Rychlost posuvu v_f ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) označuje dráhu, kterou urazí obrobek vzhledem k nástroji za jednu minutu. Rychlost posuvu je dána vztahem [1]:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot n \cdot z \quad (1.5)$$

kde:	v_f [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	-	posuvová rychlost,
	n [mm^{-1}]	-	počet otáček frézy,
	z [-]	-	počet zubů frézy,
	f_n [mm]	-	posuv na otáčku,
	f_z [mm]	-	posuv na zub.

1.2 Způsoby frézování

Princip frézování lze rozdělit na dva základní způsoby dle polohy osy nástroje k obráběné ploše:

1.2.1 Frézování válcové

U tohoto frézování dochází k obrábění pomocí válcové nebo tvarové frézy, která má zuby po obvodě nástroje. Dle směru pohybu obrobku vůči směru otáčení frézy lze válcové frézování rozdělit na tyto dva druhy [5]:

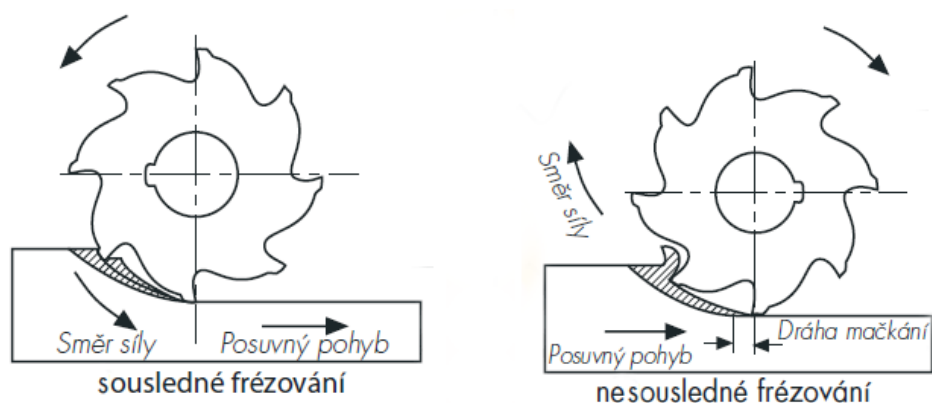
- **Frézování sousledné**

U sousledného frézování (viz obr. 3) se obrobek pohybuje ve směru otáčení frézy. Průřez třísky se postupně mění od maxima až do nulové hodnoty, to chrání břit před odíráním a ohlazováním, vyšší jakost povrchu a vyšší životnost fréz oproti frézování nesouslednému. Z důvodu prvotní maximální třísky dochází u sousledného frézování k vtahování obrobku do řezu, čímž se zvyšuje hodnota posuvu, a tedy může docházet k lomu samotného břitu nástroje. V případě, že fréza má tendenci se vtahovat do obrobku, musí být stroj opatřen kompenzací vůle posuvového šroubu stolu. Tento druh frézování je preferován vždy, pokud je to umožněno konstrukcí a tuhostí stroje, vhodným použitím nástroje a zvolenou technologií obrábění.

- **Frézování nesousledné**

U nesousledného frézování (viz obr. 2) se obrobek oproti souslednému frézování pohybuje proti směru otáčení frézy. Průřez třísky se mění od minimální k maximální.

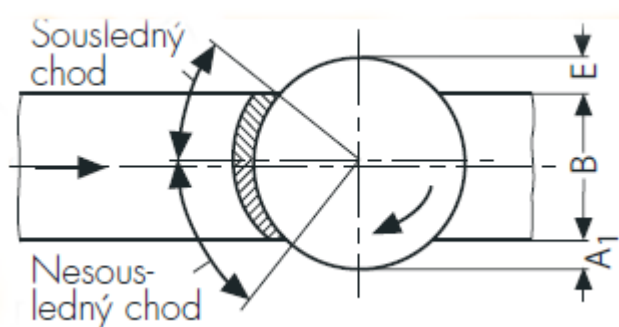
Oba dva tyto druhy frézování mohou nastat zároveň, když obrábíme čelní frézou rovinnou plochu celým svým průměrem. Polovina frézy obrábí sousledně a druhá nesousledně (viz obr. 3).



Obr. 3 Schématické znázornění frézování sousledného a nesousledného [5]

1.2.2 Frézování čelní

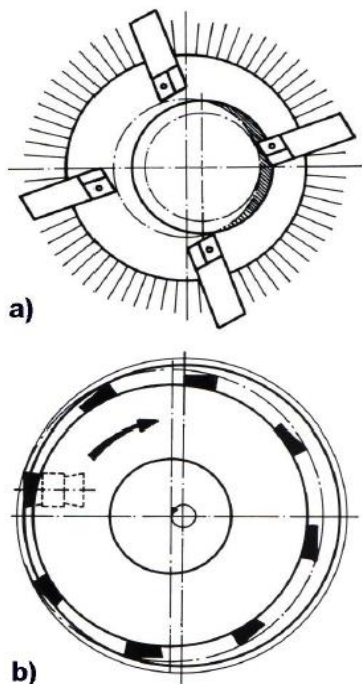
Nástrojem pro čelní frézování je čelní fréza, která má zuby rozmístěné po obvodě i čele nástroje. Nejčastěji se používají frézy s úhlem nastavení 45° a 90° , ale jsou zde k nabídce i frézy s kruhovými břitovými destičkami, nebo také frézy pro frézování do rohu s úhlem nastavení 90° . Šířka záběru ostří se nastavuje ve směru osy nástroje. V momentě kdy fréza zabírá celým svým průměrem, nastává zde frézování sousledné i nesousledné dohromady viz obr. 4. [5]



Obr. 4 Schématické znázornění frézování čelní frézou [5]

1.2.3 Frézování okružní

Okružní frézování se provádí pomocí speciální frézovací hlavy s noži. Při obrábění koná frézovací hlava, která je obsazena několika noži, rotační a posuvný pohyb. Tento druh frézování je vhodný pro výrobu dlouhých vodících šroubů s přesností stoupání a středního průměru $\pm 0,01\text{mm}$. [5]



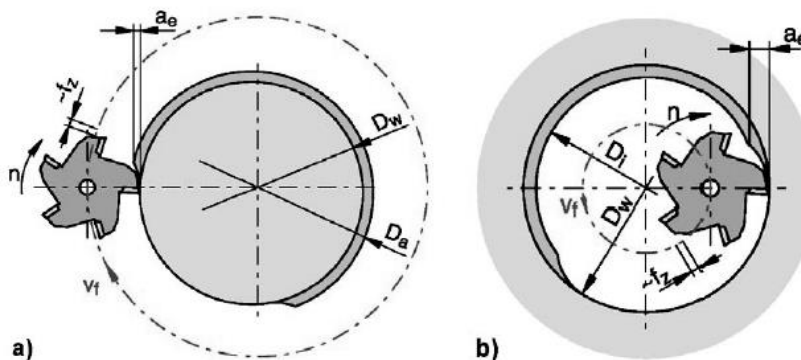
Obr. 5 Okružní frézování
a) vnější; b) vnitřní



Obr. 6 Hlava pro vnější okružní frézování pro univerzální hrotový soustruh

1.2.4 Frézování planetové

Tento způsob frézování (viz obr. 7) se velmi uplatňuje u CNC frézek a obráběcích center. Je to velice produktivní a užívaný způsob frézování nejen pro součásti kruhového charakteru, ale také pro součásti tvaru válcových kapes, ostrůvků, výstupků, čelních ploch, vnitřních zápichů atd. [5]



Obr. 7 Schématické znázornění planetového frézování
a) vnější; b) vnitřní

2 ROZDĚLENÍ FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ

2.1 Základní rozdělení fréz

Rozdělení fréz lze specifikovat do několika různých kategorií v závislosti na jejich technologických hlediscích a to takto [5,6]:

a) Dle umístění zubů na nástroji

- válcové frézy, které mají zuby na obvodu,
- čelní frézy, které mají zuby na čele,
- válcové čelní frézy, které mají zuby na čele i obvodě.

b) Dle smyslu otáčení

Při pohledu směrem od vřetena obráběcího stroje:

- levořezné,
- pravořezné.

c) Dle způsobu upínání

- nástrčné, které se upínají za díru,
- stopkové, které mohou být válcové - upínání do klestin, nebo kuželové – morse, metrický, strmý kužel.

d) Dle směru zubů vůči ose rotace

- s přímými zuby,
- se zuby ve šroubovici, které vnikají do záběru postupně, takže řezný proces je klidnější a plynulý. Sklon šroubovice je 10° až 45°.

e) Dle počtu zubů vůči průměru frézy

- jemnozubé – používají se pro dokončovací operace,
- polohrubozubé,
- hrubozubé – používají pro hrubovací operace.

Počet zubů frézy se volí dle technologie frézování. V případě hrubování se snažíme používat hrubozubé frézy kvůli možnosti větší šířky záběru ostří. U dokončovacích operací je vhodnější volit jemnozubé frézy, které zaručují vysokou stabilitu a také vysokou kvalitu obrobené plochy. Pro zaručení klidného chodu by měly být v záběru aspoň dva zuby.

f) Dle geometrického tvaru funkční části

- Válcové
- Radiusové
- Kotoučové
- Úhlové
- Drážkovací
- Závítové



Obr. 10 Schématické znázornění různých typů fréz dle geometrického tvaru [18]

g) Dle provedení zubu

- S frézovanými zuby, u kterých tvoří čelo i hřbet rovné plochy, úzká fazetka 0,5 mm – 2 mm která se nachází na hřbetě a kde se také provádí ostření.
- S podsoustruženými zuby, které mají hřbetní plochu vytvořenou jako část Archimedovy spirály. Čelo zubu je tvořeno rovinnou plochou, kde se také provádí ostření. Předností podsoustružených zubů je, že při ostření na čele se jejich profil mění zcela minimálně, proto se používají pro tvarové frézy.

h) Dle druhu materiálu zubu nástroje

- Z rychlořezných ocelí - RO
- Ze slinutých karbidů – SK (viz obr. 11)
- Z cermetů
- Z polykrystalického kubického nitridu bóru - PKNB
- Z polykrystalického diamantu - PKD
- Z řezné keramiky



Obr. 11 Vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu firmy SANDVIK COROMANT [3]

2.2 Upínání nástrojů

V současnosti je kladen veliký důraz na zkracování časů obrábění při současně nejvyšších požadavcích na přesnost výroby a bezpečnost procesů což se dá realizovat jediné pomocí kompletního systému obráběcího stroje, nástroje a upínače. Z procesu přitom vyplývají následující požadavky [2]:

- a) Na obráběcí stroj: vysoká tuhost,
vysoká přesnost házivosti vřetena,
lehkost konstrukce pohybujících se součástí,
inteligentní řízení.
- b) Na nástroj: vysoká přesnost házivosti,
vysoká jakost vyvážení (geometrie, tvar stopky),
dlouhá životnost (řezný materiál, povlak).
- c) Na upínač pro nástroj: vysoká přesnost házivosti,
bezpečné upnutí nástroje.

To vede k následujícím klíčovým požadavkům na moderní koncepcí obrábění.

- vysoká tuhost,
- maximální dynamická zatížitelnost,
- maximální přesnost,
- vhodnost pro vysoké otáčky.
- dynamické vyvážení,
- schopnost tlumit vibrace.

2.2.1 Upnutí fréz pomocí kužele

Základním stylem využívající k upnutí kužel, je upínání pomocí frézovacího trnu. Tento styl upínání se používá u nástrčných fréz. Upnutí je provedeno pomocí kužele na trnu. Nejčastějšími kužely jsou tyto [5]:

- **Morse kužel** (zkratka MK, nebo MT) s kuželovitostí 1:19 až 1:20
- **Metrický kužel** (zkratka M, nebo ME) s kuželovitostí 1:20
- **Strmý kužel** (zkratka ISO, SK) s kuželovitostí 7:24.

Strmý kužel není samosvorný a slouží tedy pouze k vystředění nástroje. Krouticí moment je pak přenášen pomocí unášecích kamenů, které pasují do vybrání nákrůžku frézovacího trnu. Kužely typu Morse a metrický jsou samosvorné a tudíž dovedou přenášet krouticí moment. Pro upínání fréz s válcovou stopkou se používá sklíčidlo s upínacím pouzdrem, nebo se fréza upne pomocí kleštin. Sklíčidla a kleštiny pak mají kuželovou stopku, přes kterou se upnou do vřetena stroje. [5]

2.2.2 Tepelné upínače

Tepelné upínače jsou určeny pro nástroje s válcovou stopkou. Upínání probíhá v tepelných upínacích pouzdrech, které se využívá zejména při vysokorychlostním obrábění. Tepelné upnutí nástrojů umožňuje používání větších řezných rychlostí a posuvů. Zároveň je možné dosahovat lepší jakosti obrobených ploch a prodlužuje se tak trvanlivost nástrojů. Princip upínání spočívá v teplotní roztažnosti použitých materiálů. Ohřevem materiálu dojde ke zvětšení otvoru pro upnutí nástroje. Nástroj se poté vloží do dutiny upínače a následně se upínač ochladí, čímž dojde ke smrštění držáku a tím i upnutí.

K ohřevu upínače se používá indukční cívka. Doba ohřevu je zhruba kolem 5 sekund. Během této doby dojde k zahřátí povrchu držáku na teplotu cca 250 °C až 300 °C, a poté je nástroj vložen do upínače. Chlazení držáku z rozmezí těchto teplot trvá přibližně 20 až 30 sekund, přičemž se využívá chlazení vodou. [21]

Výhody tepelného upínání nástrojů:

- obvodové házení nástroje 0,003 mm,
- vysoká upínací síla,
- vysoká životnost upínacích držáků,
- přenos velkého krouticího momentu,
- použití pro nejvyšší otáčky,
- rychlé upnutí a uvolnění nástroje,
- dobrá kvalita povrchu díky vysoké tuhosti a přesnosti upnutí.

2.2.2 Upínače ColdSet

Upínače druhu ColdSet jsou vyrobeny ze slitiny titanu a niklu. Tato slitina se pak vyznačuje tím, že při určité velmi nízké teplotě dojde k fázové transformaci krystalické struktury. Tím se zvětší objem, čímž se také zvětší průměr díry v upínači. Po zvětšení díry v upínači se do něj vloží nástroj a poté se upínač zahřeje na okolní teplotu. Tímto dojde k pevnému spojení nástroje s upínačem. Upínač je nejčastěji zchlazován tekutým dusíkem, ale je možnost využít i hluboce ochlazené nemrznoucí kapaliny. [22]

2.2.3 Hydraulický upínač TENDO

Upínače Tendo využívají systém hydraulického upínání. Otáčením upínacího šroubu se vytvoří rovnoměrný tlak hydraulického média uvnitř upínače. Vyvoláním tlaku se začne působit na upínací pouzdro, které nástroj pevně a přesně upne. Upínače Tendo mají vnitřní spirálovou drážku. Vysoký upínací tlak vytěsňuje olej či tuk ze stopky do drážky. Tak je zaručeno, že upínací plochy zůstanou suché a zaručují přenos velkého krouticího momentu.

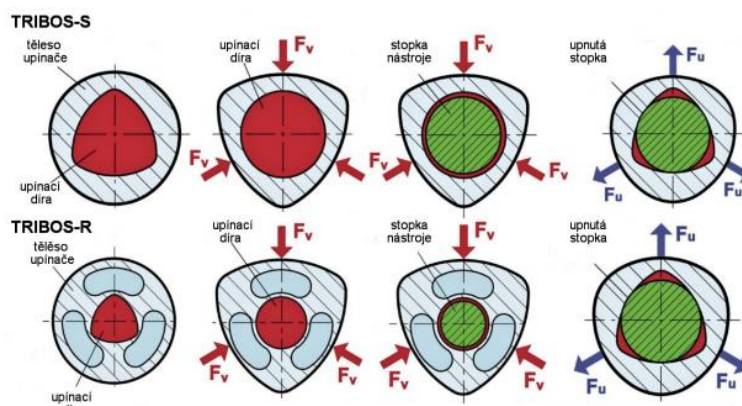
Výhody hydraulických upínačů Tendo:

- přesné upnutí (obvodová házivost 0,003 mm),
- tlumení vibrací,
- odolnost vůči vnějším znečišťujícím látkám,
- jednoduché ovládání bez periferních zařízení.

2.2.4 Polygonální upínací systém TRIBOS

Tento systém upínání přinesla na trh firma SCHUNK. Používá se pro upínání fréz menších průměrů s válcovou stopkou. Upínací síla je tvořena pružnou deformací tělesa upínače. Pokud se upínač nachází v uvolněném stavu, má upínací díra polygonální tvar (viz obr. 9). Působením sil nad vrcholy polygonální díry se změní v kruhovou. Budící síla je buzena speciálním hydraulickým zařízením. Po vložení nástroje do upínače se uvolní hydraulické zařízení a upínač má tendenci se vrátit do polygonálního tvaru, čímž pevně sevře nástroj. Tento systém upínání je dodáván ve dvou variantách. Doba potřebná pro výměnu nástroje je menší než 30 sekund. TRIBOS-S je prvním typem upínače, který má

štíhlé provedení. Tento druh upnutí dokáže přenášet krouticí moment 230 Nm při otáčkách $85\,000\text{ min}^{-1}$ s nástroji o průměru v rozmezí 3 mm až 32 mm. TRIBOS-R je robustnější provedení s vysokou schopností zachytávat radiální síly. Tento typ upínače dokáže přenášet krouticí moment 330 Nm při otáčkách $55\,000\text{ min}^{-1}$ s nástroji o průměru stopky v rozmezí 6 mm až 32 mm. [20]

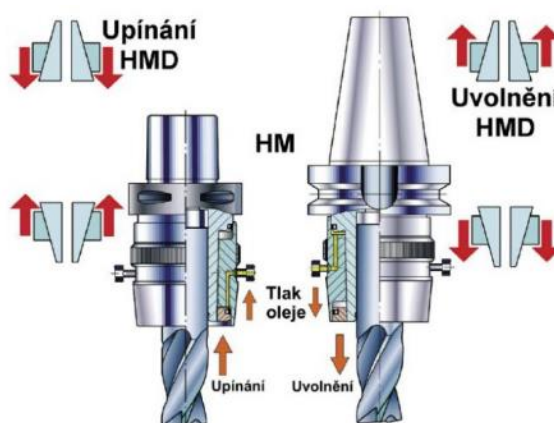


Obr. 9 Princip upínání nástrojů pomocí systému TRIBOS [20]

2.2.5 Hydraulické upínače CoroGrip

Tento druh upínání nabízí firma Sandvik Coromant. Hydraulická kapalina, která je v tomto případě olej, je používána na posuv upínacího pouzdra pro upnutí či uvolnění nástroje. Hydraulické upínače firmy Sandvik Coromant jsou nabízeny ve dvou variantách a to HM a HMD. Typ HM se vyznačuje tím, že při upínání se upínací pouzdro pohybuje nahoru a při uvolňování dolů. U typu HMD je tento systém právě naopak. Navíc je tento druh opatřen větším upínacím pouzdem a díky tomu také větší tuhost při ohybovém namáhání nástroje. Tlaková kapalina je do systému přiváděna čerpadlem, které musí kapalinu při upínání stlačit na 70 MPa a při uvolňování na 80 MPa. Mezi výhody upínání tohoto systému patří: [5]

- velmi nízké hodnoty obvodového házení,
- dobrá vyváženost nástroje,
- velmi krátká doba výměny,
- vysoké hodnoty přenášeného krouticího momentu.



Obr. 10 Princip upínání nástrojů pomocí systému CoroGrip firmy Sandvik Coromant [3]

2.3 Označování nástrojů

Velmi používanými jsou v dnešní době nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD). Použitelnost, rozsah a dostupnost je obrovská, tudíž trh je plný různých variant těchto nástrojů. Z tohoto důvodu převážná výrobců používá systém značení, který je jednotný a udává přesně stanovené parametry. Tento systém se nazývá ISO.

2.3.1 ISO systém značení nástrčných fréz s VBD

Příklad označení nástrčné frézy s VBD:

160 H 05 N – F 90 T P 16 P 22

Význam jednotlivých písmen a číslic viz tab. 1 [7]:

Tab. 1 Tabulka značení nástrčných fréz dle ISO systému

160	Řezný průměr [mm]
H	Typ frézy, druh a velikost upínání
5	Pracovní počet ostří
N	Směr řezu
F	Způsob upínání
90	Úhel nastavení hlavního ostří
T	Tvar destičky
P	Nástrojový úhel hřbetu
16	Délka řezné hrany [mm]
P	Úhel hřbetu
22	Šířka břitu [mm]

Pro detailní vysvětlení jednotlivých číslic a písmen viz Příloha 1. [7]

2.3.2 ISO systém značení stopkových fréz s VBD

Příklad označení stopkových fréz s VBD:

63 J 4 R 150 H 50 – S SA P 95

Význam jednotlivých písmen a číslic viz tab. 1 [7]:

Tab. 2 Tabulka značení stopkových fréz dle ISO systému

63	Řezný průměr [mm]
J	Typ frézy a úhel nastavení
4	Pracovní počet ostří
R	Směr řezu
150	Délka vyložení [mm]
H	Typ upínání stopky
50	Velikost stopky
S	Způsob upínání
SA	Tvar destičky
P	Úhel hřbetu
95	Délka řezné hrany [mm]

Pro detailní vysvětlení jednotlivých číslic a písmen viz Příloha 1. [7]

3 NÁSTROJE ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ

Slinuté karbidy (SK) jsou materiály, díky kterým jsme schopni vyrábět dnešní obráběcí nástroje. Slinuté karbidy (viz obr. 12) jsou velmi tvrdé nástrojářské materiály, které jsou tvořeny převážně z karbidu wolframu (WC) či titanu (TiC). V dnešní době mají obrovské využití především v oblastech frézování, soustružení a vrtání. Používají se na řezné a tvářecí nástroje tam, kde se vyžaduje vysoká tvrdost, odolnost a ořezuvzdolnost při teplotách 900°C. Používají se tam, kde slitinu nelze jiným způsobem vytvořit: vzájemná neslévatelnost, rozdílná teplota tání atd. [8]



Obr. 12 Různé druhy slinutých karbidů [9]

3.1 Historický vývoj slinutých karbidů

Již v dřívějších dobách byly známy látky, které měly vyšší tvrdost než kalené nástrojové oceli. Z přírodních materiálů to byly například diamant a korund (Al_2O_3), ale z důvodu své nízké houževnatosti nebyly vhodné pro výrobu klasického řezného nástroje s pevně definovanou geometrií.

„Kvalitativní skok ve vývoji tvrdých materiálů byl zaznamenán až po využití elektrické obloukové pece (EOP) zkonstruované Moissonem (Paříž, 1897), která umožnila zvýšit pracovní teploty procesu jejich výroby, Henry Moisson (1852-1907), laureát Nobelovy ceny (1906), je mimo vynález elektrické pece známý i svými neúspěšnými pokusy vyrobit umělý diamant. V jeho laboratoři na Farmaceutické škole Pařížské univerzity byly poprvé objeveny dva karbidy wolframu – W_2C (1896, H. Moisson) a WC (1898, P. Williams) WC se rozkládá při teplotě 2 800°C, W_2C má teplotu tavení 2 750°C. Oba karbidy mají vysokou tvrdost a mohou spolu vytvořit eutektickou slitinu s nižší teplotou tavení 2 525°C. Tuto slitinu lze s jistými obtížemi odlévat a potom brousit do požadovaného tvaru pomocí

diamantových kotoučů. Odlitky ale mají hrubozrnnou strukturu s mnoha defekty, snadno se porušují a nejsou vhodné pro řezné ani lisovací nástroje.” [8]

3.2 Výroba slinutých karbidů

Slinuté karbidy jsou vyráběny pomocí technologie práškové metalurgie, která se zabývá přípravou prášků odpovídajících karbidů a pojících kovů, jejichž smíšením v patřičném poměru lze tyto SK vyrábět pomocí lisování směsi a slinování výlisků. [8]

„Podstatou procesu výroby slinutých karbidů je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu, nejčastěji kobaltu, a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Tím vzniká kompaktní materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti výchozích karbidů a který vyniká poměrně vysokou pevností (zejména v tlaku, současné produkty předních výrobců i pevnosti v ohybu), protože jeho struktura je tvořena pevnou kostrou pojícího kovu, která obklopuje zrna relativně křehkých karbidů.“ [8]

3.3 Nepovlakované slinuté karbidy

Nepovlakované slinuté karbidy tvoří pouze velmi malou část z celkového nabízeného sortimentu. Tyto třídy se skládají přímo z WC/Co nebo obsahují velké množství kubických karbonitridů. Tyto druhy slinutých karbidů se nejčastěji aplikují při obrábění žárovzdorných nebo titanových slitin. Rychlost opotřebení nepovlakovaných slinutých karbidů je značná, ale kontrolovatelná. U těchto druhů se projevuje samoostřicí schopnost. [3]

3.3.1 Rozdělení a značení

Současné nepovlakované slinuté karbidy jsou označovány dle normy ČSN ISO 513, dle kterých jsou rozděleny do šesti skupin, kterými jsou tyto [7, 8]:

- a) **Skupina P** - tato skupina je označována modrou barvou a je určena pro materiály, které tvoří dlouhou třísku, kterými jsou nelegované a nízkolegované oceli se středním obsahem uhlíku ($0,25 < C < 0,55$) s pevností do 900 MPa a tvrdostí v rozsahu 160 - 255 HB.
- b) **Skupina M** – tato skupina je označována žlutou barvou a takto označované slinuté karbidy mají univerzální použití. Skupina je určena pro obrábění materiálů, které tvoří střední až dlouhou třísku, kterými jsou například lité a austenitické korozivzdorné oceli, dále také tvárné litiny.
- c) **Skupina K** – tato skupina je označována červenou barvou a je určena pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou nebo drobivou třísku. Pomocí takto označovaných slinutých karbidů se obrábí zejména šedá litina, neželezné kovy, a nekovové materiály.
- d) **Skupina N** – tato skupina je označována zelenou barvou a je určena pro materiály, jako je hliník a jeho měkké slitiny Al (s nízkým obsahem Si) zejména tvářené a lité. Dále také mosazi, bronzí a hůře obrobitelné a tvrdé slitiny Cu.

- e) **Skupina S** – tato skupina je označována hnědou barvou a je určena pro obrábění slitin na bázi niklu či kobaltu.
- f) **Skupina H** – tato skupina je označována šedou barvou a je určena pro obrábění kalených a zušlechťených ocelí o tvrdosti v rozmezí 50 – 55 HRC. Dále také vysoce pevných a tvrdých nástrojových ocelí, které dosahují tvrdosti 40 - 50 HRC.

Pro detailnější vysvětlení použití těchto druhů skupin viz Příloha 2. [7]

3.3.2 Výroba prášků

Základní surovinou pro výrobu slinutých karbidů jsou prášky a jejich sloučeniny kovů nebo někdy i nekovů. Jakost výrobků závisí na více faktorech, mezi které patří [10]:

- chemické a fyzikální vlastnosti prášků,
- chemické složení,
- čistota, velikost a tvar částic.

Prášky lze získat téměř ze všech kovů a jejich sloučenin a to těmito způsoby:

- a) **mechanicky** – drcení ve vířivých a kulových mlýnech (viz obr. 13), artitory nebo rozprašováním tekutého kovu,
- b) **fyzikálně-chemicky** – redukcí oxidů nebo elektrolytickým vylučováním a chemickým slučováním s nekovy (např. WC, TiC, TaC, apod.).



Obr. 13 Planetový kulový mlýn PM 200 firmy RETSCH [11]

3.3.3 Lisování polotovarů

Směs práškových karbidů a pojícího kovu je možné formovat lisováním ve formovacích lisech což je nejvíce využívaná metoda při výrobě vyměnitelných břitových destiček, dále pak izostatickým lisováním za studena (CIP – Cold Isostatic Pressing), hydrostatickým lisováním, vytlačováním přes trysku do požadovaného tvaru či vstřikováním do pomocných forem. Protože jde o tvarování velmi disperzních směsí

s nízkou plasticitou, musí se do nich přidávat látka tzv. plastifikátor. Plastifikátor snižuje tření mezi lisovacími nástroji a lisovanou směsí, usnadňuje vzájemný skluz částic, zaručuje zachování tvaru po vyhození polotovaru z lisovací formy, což je nejdůležitější účinek plastifikátoru a přidává polotovaru doplňkovou pevnost.

Lisovací tlaky se pohybují v rozmezí 50 MPa ÷ 150 MPa. Výlisek musí být zhutněn rovnoměrně po celém jeho objemu a k tomu je nejčastěji užíván princip oboustranného lisování. Tyto lisy jsou označovány jako „tabletové“ či „pilulkové“ a obvykle zaručují konstantní tlak ve všech směrech. Pro výrobu různých typů VBD lze upínat do lisů různé lisovnice a lisovnice. [8, 10]

3.3.4 Slinování

Vylisované těleso, které je umístěno do slinovací pece, je ohříváno a následně ochlazováno za řízených podmínek za působení H_2 , Argonu, nebo ve vakuu. U slinování musí být kontrolován nejen obsah uhlíku při samotném procesu, ale i u přípravy materiálu a také následném povlakování. Přítomnost uhlíku v podobě eta-fáze nebo grafitu má přímý vliv na houževnatost a odolnost proti opotřebení břitových destiček. Slinování potřebuje pro zaručení porézního výlisku z prášku na dokonalý řezný materiál především dodržení:

- přesné teploty
- doby průběhu
- odpovídající atmosféry pracovního prostředí

Po skončení procesu slinování je výrobek zcela zhutněn, má požadovanou mikrostrukturu, mechanické a fyzikální vlastnosti. [12]

3.4 Povlakované slinuté karbidy

Nejdůležitějším krokem v oblasti vývoje slinutých karbidů bylo zavedení výroby VBD s tenkými povlakovanými vrstvami TiC. Povlakování se stalo patentovanou aplikací v roce 1969 firmou Sandvik Coromant, díky které se stalo povlakování velmi významnou metodou zlepšení vlastností VBD pro řezné nástroje. Prvním materiálem, který byl použit pro povlakování se stal GC125 o tloušťce povlaku 4 μm – 5 μm . U povlakování jsou označovány tyto druhy povlakování slinutých karbidů následovně [14]:

- 1. *generace* – jednovrstvý povlak (TiC) s tloušťkou asi 7 μm a špatnou soudržností podkladu a povlaku,
- 2. *generace* – jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN) bez eta-karbidu na přechodu podklad – povlak, tloušťka až 13 μm ,
- 3. *generace* – vícevrstvý povlak s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Nejčastěji jsou řazeny v tomto pořadí TiC- Al_2O_3 , TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC- Al_2O_3 -TiN, TiCN- Al_2O_3 -TiN,
- 4. *generace* – speciální vícevrstvý povlak (často i více než 10 vrstev), s méně či více výraznými přechody mezi vrstvami. Výroba tohoto povlaku je umožněna cíleným řízením atmosféry v povlakovacím zařízení (metoda CVD).

3.4.1 Metody povlakování

Povlakované slinuté karbidy jsou vyráběny tak, že na slinutý karbid různého typu se nanese tenká vrstva materiálu (v řádech mikrometrů) s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Povlak, který je ve formě tenké vrstvy má vysokou tvrdost a pevnost, než stejný materiál (homogenní) v jakékoliv jiné formě. Tyto vlastnosti povlaků vyplývají z toho, že povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo a má o několik řádů jemnější zrnitost, tvoří bariéru proti dufúznímu mechanismu opotřebení nástroje a má méně strukturních defektů. [13]

- a) **Metoda PVD (Physical Vapour Deposition)** – tato metoda je charakteristická svými nízkými pracovními podmínkami (pod 500°C). Používá se pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí. Nízká teplota zaručuje, že při povlakování nejde k tepelnému ovlivnění nástroje. Povlak je vytvářen pomocí naprašování, napařování nebo iontovým plátováním. Proces povlakování ve vakuu což odpovídá tlaku 1 Pa.

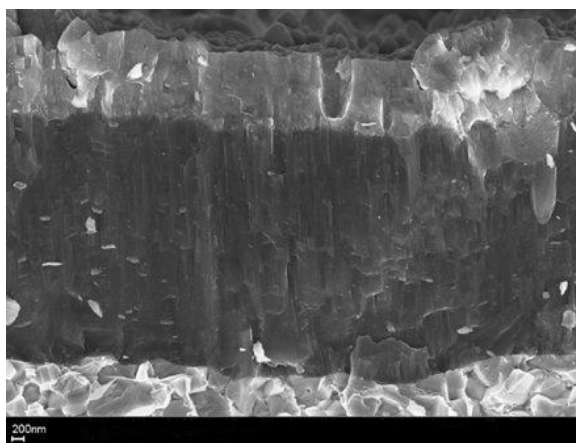
Při napařování je obvykle titan odpařován pomocí svazku elektronů, odporovým ohřevem nebo elektrickým obloukem. Tyto částice pak reagují s atmosférou komory, kterou tvoří argon (inertní plyn) a dusík (reaktivní plyn) a s tepelnou energií dopadají na povrch námi požadované povlakované součásti, kde se usazují ve formě tenké vrstvy (5 μm).

Proces naprašování využívá elektrického výboje v plynné atmosféře komory, při kterém vznikají kladné ionty, které atakují katodu z čistého kovu, na kterou je napojen záporný pól elektrického napětí. Vysoká kinetická energie iontů uvolní z čistého kovu částice, které mají potřebné chemické složení (závisí na použitém kovu a složení plynné atmosféry), které následně vytvářejí požadovaný povlak.

Iontové plátování je kombinace naprašování a napařování. Protože mezi substrátem a odpařovačem je vytvořeno silné elektrické pole, dochází v plynné atmosféře k elektrickému výboji, který ionizuje částice plynu a také odpařené částice čistého kovu. Výhody iontového plátování:

- přesně definované chemické složení povlaku,
- rovnoměrný průběh procesu,
- vysoká hustota povlaku,
- široký rozsah podkladových i povlakových materiálů (nejčastěji TiN),
- vynikající adheze povlaku k podkladu,
- možnost povlakovat ostré hrany.

K nevýhodám PVD metod patří složitý vakuový systém a požadavek pohybovat povlakovanými předměty z důvodu zaručení rovnoměrného ukládání povlaku po celém jejich povrchu. [8, 13, 14]



Obr. 14 Struktura kombinovaného povlaku TiAlN s vrstvou (Al, Cr) [23]

b) **Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition)** – tato metoda povlakování je oproti metodě PVD provozována za vyšších teplot (700°C - 1500°C), touto metodou se povlakuji převážně slinuté karbidy a je možné ji provádět ve třech provedeních:

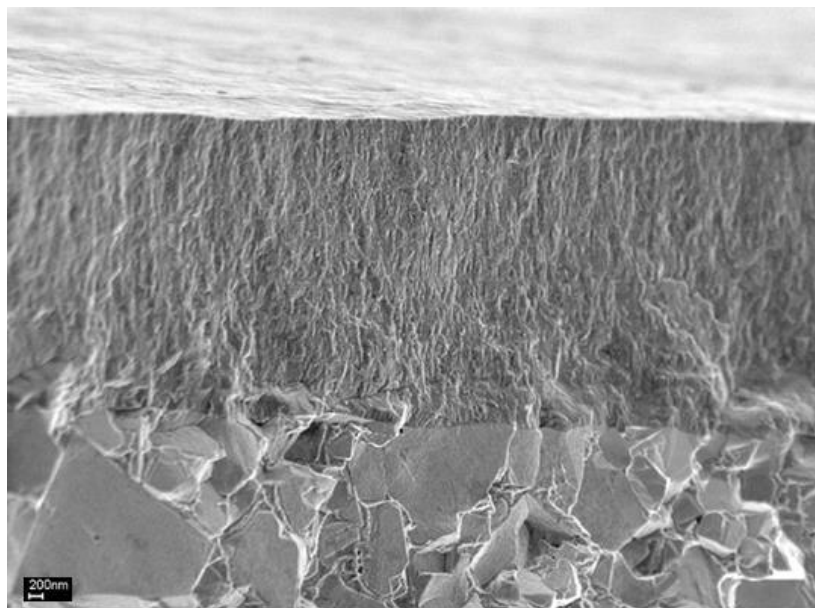
- tepelně indukovaná,
- plazmaticky indukovaná,
- fotonově indukovaná.

Chemický proces povlakování metodou CVD je založen na reakci plyných chemických sloučenin v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového materiálu a následném uložení produktů reakce na tomto povrchu. Základním požadavkem je, aby výchozí plyny (např. TiCl_4 , kovový halogenid), které se v důsledku přivedení energie (ohřevem, laserem, plazmovým obloukem) chemicky rozkládaly. Produkty těchto plynů jsou pak ukládány na ohřátý povrch podkladového materiálu a působí zde jako katalyzátor. Aby proběhlo vytvoření vrstvy povlaku, musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn (např. N_2 , NH_3 , CH_4). Velkým procentem v přídavných plynech je zastoupen nosný plyn (např. Ar , H_2), který dopravuje danou směs plynů k povlakovanému předmětu. Tento plyn umožňuje řízení celého procesu a výrazně ovlivňuje rychlost růstu vrstvy povlaku. Cíleným řízením obsahu směsi plynů lze dosáhnout plynulé změny ve složení povlakové vrstvy a tím lze vytvářet multivrstvé povlaky.

K výhodám této metody patří:

- výborná adheze mezi podkladem a povlakem,
- možnost nanesení vrstev o větší tloušťce ($10\text{ }\mu\text{m}$ – $13\text{ }\mu\text{m}$) oproti PVD,
- povlakování předmětů složitějších tvarů,
- variabilita typů povlaků.

Za nevýhody metody CVD lze považovat ovlivnění podkladového materiálu v důsledku vysokých pracovních teplot, nelze povlakovat ostré hrany a vznikají zde zbytková tahová pnutí v povlaku. [8, 13, 14]



Obr. 15 Průřez povlakem CVD [24]

3.4.2 Vlastnosti povlaků

Hlavními faktory, které ovlivňují mechanické, fyzikální vlastnosti a tím pádem i řezný výkon povlakovaných slinutých karbidů patří:

- druh povlaku a jeho tloušťka,
- substrát,
- metoda povlakování.

Odolnost povlaku závisí na typu povlaku. Vznik abrazního opotřebení ovlivňuje tvrdost povlaku, tepelné opotřebení zase termochemická stabilita, představována volnou energií. S poklesem řezné rychlosti, kdy začíná převažovat abrazní opotřebení, narůstá u povlaku TiC trvanlivost, který je tvrdší než Al_2O_3 . Dle odolnosti proti tepelnému opotřebení lze seřadit povlaky následovně $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{TiN} > \text{TiCN} > \text{TiC}$. Dle odolnosti proti abraznímu opotřebení je pořadí opačné. Z tohoto důvodu jsou povlaky typu Al_2O_3 používány pro vysoké řezné rychlosti a povlaky typu TiC jsou vhodné pro nižší rychlosti.

Tloušťka povlaku je v praxi regulována na $5\text{ }\mu\text{m} - 10\text{ }\mu\text{m}$, protože při příliš velké tloušťce povlaku dochází snadněji k odlupování. Při frézování dochází vlivem přerušovaného řezu k rázům, které se u tlustých povlaků projevují tím, že se povlak mikrovýdroluje a proto se pro tento účel používá tenčích povlaků. Slinuté karbidy povlakované metodou CVD ztrácejí ohybovou pevnost s rostoucí tloušťkou, namísto PVD povlaků, kde se hodnota ohybové pevnosti nemění. Povlakování metodou CVD probíhá za teploty kolem $1000\text{ }^\circ\text{C}$ a při této teplotě se může na povrchu substrátu snadno vytvářet oduhličená *eta*-fáze. V důsledku různého koeficientu tepelné roztažnosti se v povlaku mohou vytvářet trhliny. Povlaky typu PVD tyto defekty nemají, protože teploty za kterých se provádí povlakování jsou nižší ($500\text{ }^\circ\text{C}$). Po vytvoření povlaku vznikají zbytková pnutí, která v povlacích CVD jsou tahová a u PVD tlaková. Z toho důvodu mají slinuté karbidy povlakované metodou PVD vyšší

pevnost v ohybu a tedy i vyšší odolnost proti vydrolování než povlaky CVD. Povlaky typu CVD mají výbornou adhezni pevnost a odolnost proti opotřebení.

V důsledku uvedených rozdílů jsou slinuté karbidy s povlaky CVD používány obvykle pro soustružení a frézování, zatímco povlaky PVD jsou užívány tam, kde je trvanlivost povlaků CVD z důvodu vydrolování a vysokých řezných sil nízká např. při obrábění nerezavějících ocelí. Povlaky PVD jsou také užívány u nástrojů s ostrým ostřím (bez zaoblení), jako jsou např. stopkové frézy a celokarbidové vrtáky [13, 14].

Tab. 3 Tabulka doporučených použití povlaků [13]

Materiál	Soustružení	Frézování	Vrtání
Ocel<1000N/mm ²	AlTiN, TiAlN	AlTiN, TiAlN	AlTiN
Ocel>1000N/mm ²		AlCrN	
Ocel 45-65 HRC	AlTiN	AlTiN, AlCrN	AlTiN
Nerezová ocel	AlTiN	AlTiN	AlTiN
Litina GG, GGG	AlTiN	AlTiN	AlTiN
Al, Al slitiny	AlTiN, CrN	AlTiN, CrN	AlTiN
Ti, Ti slitiny	AlTiN	AlTiN, TiCN	AlTiN
Cu, Cu slitiny	CrN, CrC	CrN, CrC	CrN, CrC

3.4.3 Diamantové povlaky

Diamant je nejtvrdším známým materiálem, nejlepším vodičem tepla, má velmi nízký koeficient tření. Jeho použití je vhodné v extrémních podmínkách a to především v korozním prostředí, při vysokých tlacích a teplotách. Nástroje povlakované diamantem jsou velmi vhodné pro obrábění neželezných kovů, slitin hliníku, kovových kompozitních materiálů, keramiky a grafitem nebo kompozitem vyztuženými polyetylenovými vlákny. Diamantové povlaky nacházejí využití v automobilovém průmyslu, kde jsou ve velkém objemu obráběny hliníkové slitiny s vysokým obsahem křemíku.

Tyto typy povlaků se nanášejí povlakovací metodou CVD při nízkých tlacích. Diamantové povlaky rostou z plynné fáze přímo na povrchu řezného nástroje a mohou být efektivně realizované na složitých geometrických strukturách. Diamantové řezné nástroje jsou omezeny použitím, zejména pro materiály obsahující železo. Příčinou je především nestabilita diamantu při vysokých teplotách v místě dotyku nástroje a jeho reaktivita se železem. [14, 15]

3.4.4 Povlaky KNB

Kubický nitrid bóru, označován také jako c-BN, je náhradou diamantu a má spoustu výjimečných vlastností. V první řadě je to tvrdost (4000 HV), která je srovnatelná pouze s diamantem. Další vlastností je nízká chemická reaktivita, díky které má výhodu oproti diamantovým povlakům, které nemohou být použity na uhlíkové materiály. Dále pak vysoká teplotní stabilita, vysoký elektrický odpor a nízká měrná hmotnost. Tyto vlastnosti pak předurčují k používání nejvyšších řezných rychlostí a jsou určeny pro tvrdé materiály. Nevýhodou těchto povlaků je pak špatná adheze. Proto se na substráty nejrůznějších materiálů nanášejí mezivrstvy křemíku. [13]

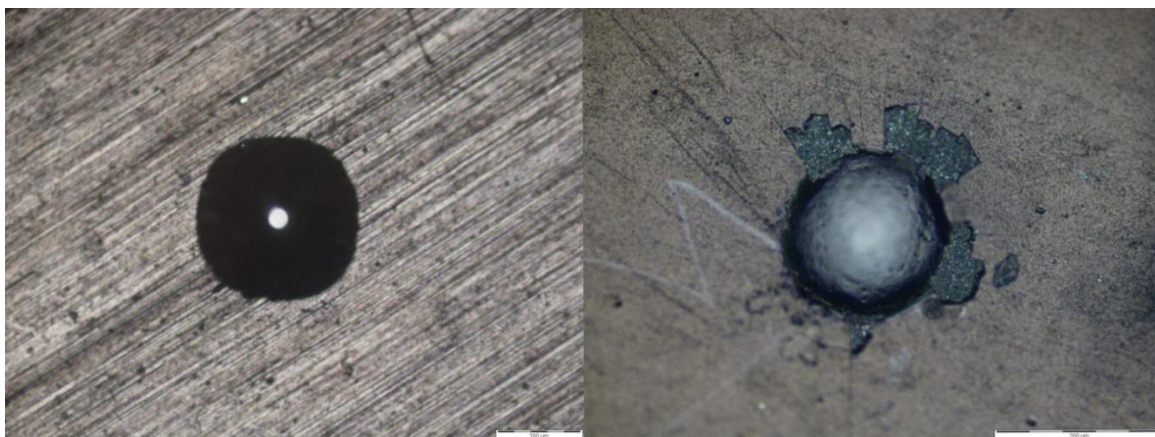
3.4.5 Zkoušení povlaků

Každý povlak, který je vytvořen, je charakterizován širokým souborem základních vlastností, jako jsou například:

- mikrostruktura,
- chemické a fázové složení,
- tloušťka,
- typ vazeb na rozhraní substrát/povlak,
- přítomnost nečistot na mezifázových rozhraních,
- drsnost povrchu,
- tvrdost,
- koeficient tření,
- adheze,
- chemická a tepelná stabilita,
- odolnost proti oxidaci.

Tvrdost – je základní vlastností každého povlaku. Na této hodnotě závisí odolnost proti abrazivnímu opotřebení. [13]

Měření adheze a koheze povlaku je proveden tzv. Mercedes testem, kdy je do substrátu nástroje vtlačován diamantový hrot a předem definovaném zatížení. Tento hrot vyvolá v okolí vpichu napětí a na základě stanovených charakteristik jsou poté v místě vtisku vyhodnocovány adhezní a kohezní vlastnosti povlaku viz obr. 15. Tento test je velmi rychlý a efektivní, ale je omezen minimální trvanlivostí substrátu a tloušťkou povlaku. [25]



Obr. 15 Měření adheze. Vlevo správná adheze povlaku, vpravo špatná adheze povlaku.[25]

4 VÝBĚR NÁSTROJŮ Z KATALOGŮ VÝROBCŮ

V současné době se na tuzemském i zahraničním trhu nachází velké množství firem, nabízejících frézovací nástroje určené k efektivnímu obrábění. Tato bakalářská práce je zaměřena na určitou část z těchto nabízených nástrojů konkrétně na **90° rohové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami** viz obr. 16. Při tomto druhu frézování vznikají zároveň dvě obrobené plochy, tedy je zřejmé, že se kombinuje frézování čelní a obvodové. Hlavním kritériem těchto fréz je, aby byl zaručen přesný úhel devadesát stupňů. Tyto frézy jsou vyráběny v různých provedeních, co se týče průměrů a délek. V další části se zaměřím na popsání účelu, použití a výhod různých typů fréz.



Obr. 16 Devadesátí stupňové rohové frézy s VBD firmy WIDIA [16]

4.1 Frézovací nástroje firmy SADVIK COROMANT

Firma Sandvik Coromant je švédská firma, která má ve své nabídce nástroje pro soustružení, frézování, vrtání a upínání nástrojů. Působí ve sto třiceti zemích světa. Byla založena roku 1862 ve Švédsku. Tento producent nástrojů dominuje svou řadou nástrojů CoroMill a tato řada nachází řešení pro každou frézovací operaci. Tento mnohoúčelový systém nabízí mnoho řešení od těžkého hrubování až po dokončovací operace frézování.

V následujících odstavcích jsou popsány vybrané frézy pro rohové frézování, jejich základní parametry a odlišnosti.

CoroMill 290 – je univerzální rohová fréza se čtyřmi řeznými hranami na břitovou destičku. Tato fréza nelze použít pro postupné zahlubování. Pro upnutí slouží válcová stopka nebo upínací trn. Fréza zaručuje nízké axiální síly. Nabízený sortiment je v rozsahu průměru 40 mm – 250 mm. Fréza má podložkou chráněná lůžka břitových destiček. Aplikace pro tento typ frézy je:

- frézování do rohu,
- frézování drážek,
- kruhová interpolace.

CoroMill 390 – je fréza, pro frézování do rohu s dlouhými břity. Tato fréza je ideální pro postupné zahlubování a šroubovicovou interpolaci. Výhodou je velká hloubka řezu a strmý

úhel sestupu při postupném zahlubování. Fréza disponuje vnitřním přívodem řezné kapaliny. Břitové destičky s geometrií pro lehký řez umožní tomuto druhu frézy snížení velikosti řezných sil a brání také průhybu a vzniku vibrací při samotném obrábění. Čelní stopková fréza a čelní fréza do rohu se spojkou Coromant Capto je nabízena v průměrech 16 mm – 84 mm, čelní rohová fréza 40 mm – 200 mm a fréza s dlouhými břity 32 mm – 200 mm. Velikost břitových destiček je nabízena v rozměrech 11 mm, 17 mm nebo 18 mm pro hloubky řezu až 15,7 mm. Aplikace pro tento typ frézy je:

- opakované frézování do rohu,
- postupné zahlubování po lineární nebo kruhové dráze,
- frézování hran a obrysů,
- frézování hlubokých osazení.

CoroMill 490 – tato fréza umožňuje frézování přesných pravoúhlých rohů bez ostrých přechodů a stupňů na obráběné ploše. Fréza má k dispozici břitové destičky se čtyřmi řeznými hranami, které zaručují lehký průběh řezu a nízkou úroveň řezných sil. Stopkové frézy CoroMill 490 jsou nabízeny v průměrech 20 mm – 84 mm a nástrčné potom 20 mm – 250 mm. Velikost břitových destiček je nabízena v rozměrech 8 mm pro hloubku řezu až 5,5 mm a velikost VBD 14 mm pro maximální hloubku řezu až 10 mm. Aplikace pro tento typ frézy je:

- čelní frézování,
- kruhová interpolace,
- opakované frézování do rohu.

CoroMill 790 – tato fréza disponuje vysokou výkonností a zároveň bezpečností při vysokorychlostním obrábění. Je určena k extrémním rychlostem úběru materiálu a má také velmi malé obvodové házení. Z důvodu rychlého odvádění třísek má zubová mezera otevřený tvar, který umožní plynulý odvod třísek. Samozřejmostí je vnitřní přívod řezné kapaliny. Břitová destička je uložena na vroubkovaném rozhraní, které zaručuje přesnost a spolehlivost. Fréza je vyráběna v průměrech od 25 mm do 100 mm. Aplikace pro tento typ frézy je:

- obrábění součástí letadel z hliníkových slitin,
- obrábění hlubokých dutin,
- dokončovací operace většiny materiálů.

CoroMill Century – je soubor čelních fréz, které mají hliníkové nebo ocelové tělo určené pro vysokorychlostní obrábění. Při konstrukci těchto fréz (viz obr. 17) je dbáno na výkonnosti a snížení velikosti obvodového házení. Lůžka břitových destiček jsou s vroubkovanou styčnou plochou. Axiální poloha břitových destiček lze u těchto typů fréz nastavit v rádech mikrometrů. Tyto typy fréz jsou vyráběny jako čelní s hliníkovým nebo ocelovým tělem v rozměrech od 40 mm do 200 mm, nebo jako frézy čelní s výměnnými kazetami v průměru od 160 mm do 500 mm. Geometrie a nástrojové třídy břitových destiček umožňují obrábění všech typů materiálů, včetně PKD a CBN. Aplikace pro tyto typy fréz jsou:

- čelní a rohové frézování materiálů ISO N,
- CBN třídy pro vysokorychlostní obrábění materiálů ISO K.



Obr. 17 Fréza CoroMill Century firmy Sandvik Coromant [3]

Tab. 4 Přehled čelních fréz do rohu firmy Sandvik Coromant [3]

Nástroj				Břitová destička		
Označení frézy	Řezný průměr [mm]	Počet břitů	Úhel nastavení hlavního ostří [°]	Tvar	Velikost [mm]	Úhel hřbetu [°]
Coromill 290	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 16, 18	90	čtvercový	12	18
Coromill 390	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12	90	kosodélníkový	10, 16, 18	11
Coromill 490	20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15	90	čtvercový	5	16
Coromill 790	25, 40, 50, 63, 80, 100	2, 3, 4, 5, 6	90	kosodélníkový	12, 18	16
Coromill Century	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200	4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 16	90	čtvercový	11	11

4.2 Frézovací nástroje firmy PRAMET TOOLS

Firma Pramet Tools se zabývá vývojem, výrobou a prodejem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Produkty, které firma vyrábí, jsou vyráběny v České republice. Tak jako firma Sandvik Coromant se i firma Pramet zabývá výrobou nástrojů pro frézování, soustružení a vrtání. Firma byla založena roku 1951 v Šumperku, kde má dodnes své sídlo.

V následujících odstavcích jsou popsány vybrané frézy pro rohové frézování, jejich základní parametry a odlišnosti.

SAD11E (SAD16E) - tyto dva typy fréz jsou stopkové frézy do rohu, které se vyrábějí v průměrech od 16 mm do 40 mm. Upínány mohou být pomocí systému WELDON, Morse kužele nebo válcové stopky. Počet zubů u těchto fréz je dva až pět v závislosti na průměru. Šířka záběru ostří je u SAD11E $a_{p \max} = 9$ mm a u SAD16E $a_{p \max} = 13$ mm. Břitová destička je kosodélníkového tvaru s upínáním pomocí šroubu. Frézy jsou vybaveny vnitřním chlazením. Tento typ fréz je doporučen pro tyto operace:

- frézování do rohu,
- frézování drážek,
- kruhová interpolace.

S90AD11E (S90AD16E) - jsou označovány jako frézy do rohu. Vyrábějí se od průměru 40 mm se čtyřmi a šesti zuby až do průměru 125 mm s dvanácti zuby. Šířka záběru ostří je u S90AD11E max. $a_p = 9$ mm a u S90AD16E max. $a_p = 13$ mm. Frézy tohoto typu jsou konstruovány jako nástrčné, zajištěné pomocí šroubu.

C90AD15 - je fréza do rohu, která se vyrábí v průměrech od 40 mm s šesti zuby až do průměru 80 mm se čtrnácti zuby. Tento typ fréz se dá označit jako dokončovací, dle počtu zubů a velikosti zubové mezery. Šířka záběru ostří je u C90AD15 $a_{p \max} = 10$ mm. Tento typ fréz je doporučen pro tyto operace:

- čelní frézování,
- kruhová interpolace,
- postupné lineární zahlubování.

S90AP10D (S90AP16D) - jsou frézy do rohu, které se vyrábějí v průměrech od 40 mm s šesti zuby až do průměru 160 mm s desíti zuby. Šířka záběru ostří je u S90AP10D $a_{p \max} = 9$ mm a u S90AP16D $a_{p \max} = 13$ mm. Tyto frézy jsou vyráběny bez vnitřního přívodu řezné kapaliny. Nástrojové úhly jsou $\gamma_p = 3^\circ$ až 6° a $\gamma_f = 0^\circ$.

SLN12 - je fréza vyráběná v průměrech od 25 mm se dvěma zuby do 40 mm také se dvěma zuby. Fréza disponuje vnitřním chlazením a je upínána pomocí metrického závitu. Maximální hloubka, do které může fréza obrábět je 43 mm. Velikost břitové destičky je a_{p12} mm a $a_{p \max} = 9$ mm. Nástrojové úhly jsou $\gamma_p = -6^\circ$ a $\gamma_f = -15^\circ$.

W90XO12 - tento typ fréz je používán pro obrábění hliníkových slitin. Jsou vyráběny v průměrech od 50 mm se čtyřmi zuby do 315 mm s třiceti šesti zuby. Šířka záběru ostří je u tohoto typu $a_{p \max} = 10$ mm. Nástrojové úhly jsou $\gamma_p = 8^\circ$ a $\gamma_f = 0^\circ$ až 3° .



Obr. 18 Fréza do rohu pro obrábění hliníkových slitin W90XO12 firmy PRAMET [7]

Tab. 5 Přehled čelních fréz do rohu firmy Pramet Tools [7]

Nástroj				Břitová destička		
Označení frézy	Řezný průměr [mm]	Počet břitů	Úhel nastavení hlavního ostří [°]	Tvar	Velikost [mm]	Úhel hřbetu [°]
SAD11E (SAD16E)	16, 18, 20, 25, 32, 40	2, 3, 4, 5, 6	90	kosodélníkový	11, 16	15
S90AD11E (S90AD16E)	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	90	kosodélníkový	11, 16	15
C90AD15	40, 50, 63, 80	6, 8, 10, 14	90	kosodélníkový	12	0
S90AP10D (S90AP16D)	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	90	kosodélníkový	10, 16	11
SLN12	25, 32, 40	2, 3, 4	90	obdélníkový	12	0
W90XO12	50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 30, 36	90	kosodélníkový	12	0

4.3 Frézovací nástroje firmy SECO TOOLS

Firma SECO TOOLS je česká společnost, zabývající se výrobou nástrojů pro frézování, soustružení a vrtání. Tento producent dodává nástroje po celém světě. Na trhu je firma již od roku 1929.

V následujících odstavcích jsou popsány vybrané frézy pro rohové frézování, jejich základní parametry a odlišnosti.

Nano Turbo - jsou nejmenší frézy ze skupiny fréz pro frézování do rohu, ale přesto umožňují pracovat s velkým výkonem. Tento druh fréz je alternativním řešením monolitních karbidových fréz a nástrojů vyrobených z HSS, předností těchto fréz je vyšší výkon a úspora nákladů. Frézy jsou dodávány v průměru od 10 mm do 40 mm. Velikost destičky $a_p = 6$ mm, maximální šířka záběru ostří $a_{p \max} = 5$ mm.

Micro Turbo - tyto typy fréz jsou vhodné pro stroje s nízkým výkonem a menší stabilitou. Všechny frézy typu Turbo jsou z kalené oceli, tělesa fréz mají vysokou pevnost a tvrdost. Frézy jsou dodávány v průměrech od 12 mm do 100 mm. Velikost destičky $a_p = 9$ mm, maximální šířka záběru ostří $a_{p \max} = 8$ mm.

Super Turbo - tento typ fréz je označován za první volbu pro všeobecné frézování do rohu. Frézy s označením Super Turbo mají 12 mm vysoce pozitivní destičky, které umožňují použití v rozsáhlé řadě materiálů. Frézy jsou dodávány v průměrech od 20 mm do 250 mm. Velikost destičky $a_p = 12$ mm, maximální šířka záběru ostří $a_{p \max} = 11$ mm.

Power Turbo - tento typ fréz je určen pro velké řezné výkony a zajišťuje maximální úběr materiálu při efektivním využití výkonu stroje. Frézy jsou dostupné ve velké řadě průměrů a to od 32 mm do 250 mm. Velikost destičky $a_p = 18$ mm, maximální šířka záběru ostří $a_{p \max} = 17$ mm.

Mini Square - tyto typy fréz patří pro rohové frézování. Frézy jsou osazeny čtvercovými destičkami. Břitová destička má speciálně řešenou geometrii, na níž je dosažen úhel nastavení hlavního ostří 90° , bez toho aby byla zeslabena boční hrana destičky. Frézy jsou dostupné ve velké řadě průměrů a to od 25 mm do 100 mm. Velikost destičky $a_p = 9$ mm, maximální šířka záběru ostří $a_{p \max} = 8$ mm. Aplikace pro tento typ fréz je:

- frézování drážek,
- konturování,
- čelní frézovací operace v běžných ocelích (až 300 HB),
- frézování nerezových ocelí a litin.



Obr. 19 Frézovací nástroje do rohu firmy SECO TOOLS [19]

Square 6 - tento typ fréz disponuje dvěma různými velikostmi břitových destiček, aby bylo možné pokrýt co největší oblast aplikací v závislosti na hloubce řezu. Nástroj je dodáván se dvěma různými roztečemi ve verzích se čtyřmi a se šesti zuby. Břitová destička má celkem šest řezných hran. Destičky jsou obvodově broušeny a mají hladící plošky, díky kterým je dosaženo vysoké jakosti povrchu. Aplikace pro tento typ frézy je:

- frézování do rohu,
- drážkování,
- drážkování ponorným frézováním,
- ponorné frézování,
- konturování, čelní frézování.

Tab. 6 Přehled čelních fréz do rohu firmy SECO TOOLS [19]

Nástroj				Břitová destička		
Označení frézy	Řezný průměr [mm]	Počet břitů	Úhel nastavení hlavního ostří [°]	Tvar	Velikost [mm]	Úhel hřbetu [°]
Nano Turbo	10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 32, 40	2, 3, 4, 5, 7, 8, 10	90	kosodélníkový	3, 5	15
Micro Turbo	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	90	kosodélníkový	11, 16	15
Super Turbo	40, 50, 63, 80	6, 8, 10, 14	90	kosodélníkový	12	0
Power Turbo	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	90	kosodélníkový	10, 16	11
Mini Square	25, 32, 40	2, 3, 4	90	obdélníkový	12	0
Square 6	50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 30, 36	90	kosodélníkový	12	0

5 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ NÁSTROJŮ

Díky tomu, že v dnešní době existuje mnoho výrobců frézovacích nástrojů, kteří většinou používají stejné, či podobné označení nástrojů, tak není problém si vybrat nástroj pro konkrétní operaci a druh frézování. Naopak je výhodné, díky různým katalogům výrobců, mít možnost porovnání podobných frézovacích nástrojů, v tomto případě frézovacích nástrojů do rohu (úhel nastavení hlavního ostří $\chi_r = 90^\circ$). Díky takovéto nabídce frézovacích nástrojů se výrobci snaží nabízet své produkty úměrně s cenami jejich nejlepší možná konstrukční řešení.

V nabízeném sortimentu světových i tuzemských producentů frézovacích nástrojů do rohu jsou mezi jednotlivými výrobci jisté rozdíly. U třech výrobců, kterými jsou firmy Sandvik Coromant, Pramet Tools a Seco Tools, u kterých byla sledována nabídka frézovacích nástrojů, jsou zřetelné rozdíly v tabulkách v kapitole 4. I přes tyto drobné rozdíly je možné u všech třech výrobců najít vhodný nástroj pro konkrétní operaci. Celkové zhodnocení je uvedeno v tabulce 7.

Každý výrobce, který nabízí vlastní sortiment, doporučuje určité řezné podmínky a jejich oblast využití pro daný typ materiálu. Srovnání doporučených řezných podmínek však není možné, protože by musely být zahrnuty parametry, jako jsou například tuhost stroje, výkon stroje, rozmezí posuvů a otáček, či stabilita frézovaného obrobku. Řezné podmínky se poté optimalizují individuálně.

Tab. 7 Souhrnný přehled parametrů frézovacích nástrojů do rohu firem.

OZNAČENÍ VÝROBCŮ	ROZSAH PRŮMĚRŮ [mm]	ROZSAH POČTU ZUBŮ [-]	ROZSAH MAXIMÁLNÍ HLOUBKY ŘEZU [mm]
PRAMET TOOLS	16 - 315	2 - 36	24 - 90
SANDVIK COROMANT	20 - 250	2 - 18	24 - 80
SECO TOOLS	10 - 315	2 - 36	24 - 80

6 DISKUZE

V první kapitole je popsána charakteristika frézování, kde jsou vysvětleny pojmy: řezná rychlost, otáčky vřetene, posuv na zub, posuv na otáčku, rychlost posuvu. Následující kapitola je zaměřena na rozdělení, označování a upínání fréz. Pomocí těchto parametrů fréz, typu materiálu, zvolené technologie a ekonomickém zhodnocení následně vybíráme z katalogu výrobců nástrojů. Další kapitola popisuje historický vývoj, samotnou výrobu, typy povlaků a zkoušení slinutých karbidů.

Současné nástroje nabízené firmami, se stále více a více zdokonalují a tím se neustále zlepšují podmínky pro samostatné obrábění. Nástroje disponují například vnitřním přívodem procesní kapaliny, dosahují vysokých tuhostí. Jsou konstruovány pro vysoké řezné a posuvové rychlosti. S tím jsou spojeny náklady na pořízení samotného frézovacího nástroje, ale to neplatí jen pro frézovací nástroje, ale i pro soustružnické nože, závitníky, výhrubníky, výstružníky, vrtáky a další nástroje. Technologie, které jsou k dispozici v současné době pro výrobu nástrojů, se odráží na kvalitě zpracování samotného produktu. Nástroje dosahují dlouhé životnosti, při správném zacházení a používání doporučených řezných podmínek.

V kapitole popisující jednotlivé nástroje je uveden pouze výběr nástrojů, které se nachází v katalogích těchto firem. V současné době se nachází na trhu obrovská škála nástrojů, které jsou určeny pro velké množství operací. S přibývajícími technologiemi se snaží výrobci vyvinout nástroj s co nejlepšími vlastnostmi. Ať už se jedná o hrubovací nástroje, které potřebují širokou zubovou mezeru pro co největší množství odběru třísky a vysokou stabilitu kvůli omezení vibrací. Nebo o dokončovací nástroje, které odebírají malou třísku oproti hrubovacím nástrojům, ty však mají zubovou mezeru zdaleka menší než je tomu u hrubovacích nástrojů. Mají také větší počet zubů a většina těchto dokončovacích nástrojů disponuje fazetkou, která se stará o dokonalý povrch a také zajišťuje rozměrovou stabilitu a přesnost.

7 ZÁVĚR

Obsahem této bakalářské práce jsou frézovací nástroje ze slinutých karbidů. Cílem této práce bylo charakterizovat frézovací nástroje z hlediska konstrukce, nástrojových materiálů, způsobu označení a následného užití. Dále porovnat sortiment významných světových i tuzemských producentů frézovacích nástrojů a to konkrétně fréz do rohu s úhlem nastavení hlavního ostří $\chi_r = 90^\circ$.

Z výše uvedených údajů je vidět, že množství a variabilita nabízených nástrojů pro rohové frézování je velká. Široký rozsah upínání, průměrů, roztečí zubů, délek vyložení nástroje je pro dnešní výrobní proces velkým přínosem a tím pádem je mnoho variant a řešení pro výběr vhodného nástroje. Z takto široké nabídky je ovšem velice těžké vybírat nejvhodnější nástroj. Volba vhodného nástroje záleží na typu obráběného materiálu, požadované kvalitě obrobené plochy, stabilitě soustavy atd. Tím se dokazuje, že bez technických zkoušek na konkrétní aplikaci se těžko určuje nejideálnější typ nástroje. Není totiž jasné dáno, že na určitý typ nástroje a materiál se musí použít přesně stanovené řezné podmínky dané výrobcem nástroje.

Zpracování katalogů firmami je přehledné a postupně navádí k optimálnímu nástroji. Na začátku samotného výběru nástroje je nutné rozhodnout se, pro jakou operaci bude využíván, zda bude využíván také pro jiné účely, než kterým má původně sloužit. Jeden z nejvíce přehledných a orientovaných katalogů se ukázal katalog firmy Sandvik Coromant, který měl přehledně uspořádané nástroje, břitové destičky a doplňky vztahující se k samotnému upínání a manipulaci s břitovými destičkami. Podobný dojem budily i dva ostatní katalogy firmy Pramet Tools a Seco Tools. U firmy Sandvik Coromant byly vidět velmi dobré zkušenosti s logickým uspořádáním, které u předešlých firem nebyly na takové úrovni. Tím však ostatní katalogy neztrácely na úplnosti. Všechny firmy mají dostupné online katalogy, do kterých může nahlédnout každý, kdo má zájem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [2] HOFFMANN GROUP, *příručka obrábění: [online]*. [vid. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.hoffmann-group.com/prirucka-obrabeni.html>
- [3] SANDVIK COROMANT. *main catalogue 2014. [online]*. [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/c-2900-148.pdf>
- [4] HSKWORLD. *Critical Link High-Speed Milling [online]*. © 2005- [vid. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.hskworld.com/critical_link.htm.
- [5] HUMÁR, Anton. *Technologie I: technologie obrábění - 1. část [online]*. Brno: Ústav strojírenské technologie, 2003 [vid. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/page/opory>.
- [6] HUMÁR, A., PÍŠKA, M. *Technologie frézování. MM Průmyslové spektrum, Speciální vydání*. Září 2004. ISSN 1212-2572., s. 26-50
- [7] PRAMET TOOLS s.r.o., *Katalog – frézování 2014. [online]*. [vid. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download.php?id=573>
- [8] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Odborné publikace. Odborné publikace. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. 235 s. ISBN: 978-80-254-2250- 2.
- [9] A-TEC CORP. *[online]*. [vid. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.ateccorp.com/carbide-inserts.html>
- [10] TAEGUTEC. *příručka obrábění, [online]*. [vid. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.taegutec.cz/prirucka-obrabeni.pdf>
- [11] RETSCH. *[online]*. [vid. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.retsch.cz//kulove-mlyny/planetary-ball-mill-pm-200/>
- [12] Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
- [13] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Odborné publikace. Odborné publikace. Brno: CCB spol. s r.o., 1995. 265 s. ISBN: 80-85825-10- 4.
- [14] MM průmyslové spektrum: *Trendy v povlakování slinutých karbidů. [online]*. Praha: Vogel Publishing, 1997-2014 [vid. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>
- [15] TRIBOTECHNIKA, *diamantové povlaky [online]*. [vid. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/diamantove-povlaky.html>
- [16] TYROLINE. *[online]*. [vid. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.tyroline.cz/widia/>
- [17] SANDVIK COROMANT. *[online]*. [vid. 2014-05-05]. Dostupné z: http://www.sandvik-coromant.com/shoulder_face_milling/Pages/default.aspx
- [18] CARBIDE AND DIAMOND TOOLING. *[online]*. [vid. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.carbideanddiamondtooling.com>

- [19] SECO TOOLS, *katalog nástrojů*: [online]. [vid. 2014-05-07]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/Online-Catalogue/>
- [20] HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Upínání rotačních nástrojů. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Září 2004. s. 70-83. ISSN 1212-2572.
- [21] MM Průmyslové spektrum: *Nová koncepce tepelného upínání nástrojů*. [online]. Praha: Vogel Publishing, 1997-2014 [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/nova-koncepce-tepelneho-upinani-nastroju.html>
- [22] MM Průmyslové spektrum: *Upínání nástrojů smrštěním teplem i chladem*. [online]. [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/upinani-nastroju-smrstenim-teplem-i-chladem.html>
- [23] MM Průmyslové spektrum: *PVD povlaky na bázi oxidů Al₂O₃*. [online]. [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pvd-povlaky-na-bazi-oxidu-al2o3.html>
- [24] CEMECON: *Technologie povlakování*. [online]. [vid. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.cemecon.cz/technologie/>
- [25] CEMECON: *Kontrola kvality*. [online]. [vid. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.cemecon.cz/technologie/kontrola-kvality.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CIP	Cold Isostatic Pressing
CNC	Computer Numerical Control
CVD	Chemical Vapor Deposition
HB	Tvrdost dle Brinella
HV	Tvrdost dle Vickerse
M, Me	Metrický kužel
MK, MT	Morse kužel
PKD	Polykrystalický diamant
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD	Physical Vapor Deposition
SK	Slinutý karbid
SK, ISO	Strmý kužel
VBD	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
$a_{p \max}$	[mm]	Maximální šířka záběru ostří
f_n	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
n	[min ⁻¹]	Otáčky
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_f	[m.min ⁻¹]	Rychlost posuvu
z	[-]	Počet zubů

γ_f	[°]	Nástrojový boční úhel čela
γ_p	[°]	Nástrojový zadní úhel čela
χ_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 ISO systém značení fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Příloha 2 ISO systém značení vyměnitelných břitových destiček.

ISO systém značení fréz s vyměnitelnými destičkami [7]

ISO 7406-88
DIN 8029/1

NÁSTRČNÉ FRÉZY

ISO 7548-86
DIN 8029/2

STOPKOVÉ FRÉZY

<p>2</p> <p>Typ frézy, druh a velikost upínání</p> <div> <div> <p>A</p> <p>ISO 6462/A DIN 8030/A ČSN 22 2301/A</p> </div> <div> <p>B</p> <p>ISO 6462/B DIN 8030/B ČSN 22 2301/B</p> </div> <div> <p>C</p> <p>ISO 6462/C DIN 8030/C ČSN 22 2301/C</p> </div> </div> <div> <p>F $\varnothing d = 27$</p> <p>G $\varnothing d = 32$</p> <p>H $\varnothing d = 40$</p> <p>J $\varnothing d = 50$</p> <p>K $\varnothing d = 60$</p> <p>M $\varnothing d = 80$</p> <p>T</p> </div>				<p>5</p> <p>Úhel nastavení</p> <div> <p>κ 90°</p> <p>κ 75°</p> <p>κ 60°</p> <p>κ 45°</p> <p>κ MO</p> </div>				<p>10</p> <p>Úhel hřbetu</p> <div> <p>$N \alpha' = 0^\circ$</p> <p>$P \alpha' = 11^\circ$</p> <p>$D \alpha' = 15^\circ$</p> <p>$E \alpha' = 20^\circ$</p> <p>$F \alpha' = 25^\circ$</p> </div>				<p>11</p> <p>Délka (šířka) bříty Délka (šířka) rezní hrany</p> <div> <p>B [mm]</p> <p>l [mm]</p> </div>																																																																																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																																																													
160	H	05	N	F	90	T	P	16	P	22																																																																																													
250	C	16	R	W	45	S	E	12	F																																																																																														
—																																																																																																							
<p>1</p> <p>Rezní průměr</p> <p>$\varnothing D$ [mm]</p>				<p>4</p> <p>Směr řezu</p> <p>R</p> <p>L</p> <p>N</p>				<p>5</p> <p>Způsob upínání</p> <p>C</p> <p>S</p> <p>W</p> <p>F</p>				<p>7</p> <p>Tvar destičky</p> <p>S</p> <p>T</p> <p>R</p> <p>C</p> <p>W</p> <p>A</p>				<p>9</p> <p>Velikost destičky - délka řezné hrany</p> <table> <tr> <th>d [mm]</th> <th>S</th> <th>C</th> <th>T</th> <th>W</th> <th>R</th> <th>A</th> </tr> <tr> <td>6,35</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>09/1</td> </tr> <tr> <td>7,94</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>08</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9,525</td> <td>09</td> <td>09</td> <td>16</td> <td>06</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12,70</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>22</td> <td>08</td> <td></td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>15,875</td> <td>15</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>25,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>25,40</td> <td>25</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				d [mm]	S	C	T	W	R	A	6,35						09/1	7,94					05		8,00					08		9,525	09	09	16	06	10	12	10,00					12		12,00					15		12,70	12	12	22	08		15	15,875	15						16,00					16		25,00					25		25,40	25					
d [mm]	S	C	T	W	R	A																																																																																																	
6,35						09/1																																																																																																	
7,94					05																																																																																																		
8,00					08																																																																																																		
9,525	09	09	16	06	10	12																																																																																																	
10,00					12																																																																																																		
12,00					15																																																																																																		
12,70	12	12	22	08		15																																																																																																	
15,875	15																																																																																																						
16,00					16																																																																																																		
25,00					25																																																																																																		
25,40	25																																																																																																						
<p>3</p> <p>Pracovní počet ostří</p>				<p>8</p> <p>Úhel hřbetu</p> <p>$N \alpha = 0^\circ$</p> <p>$C \alpha = 7^\circ$</p> <p>$P \alpha = 11^\circ$</p> <p>$D \alpha = 15^\circ$</p> <p>$E \alpha = 20^\circ$</p> <p>$F \alpha = 25^\circ$</p>																																																																																																			
1	1a	3	4	2a	3a	4a	5	7	8	9 (11)																																																																																													
63	J	4	R	150	H	50	S	SA	P	95																																																																																													
32	A	3	R	040	B	32	S	A	D	12																																																																																													
—																																																																																																							
<p>1a</p> <p>Typ frézy a úhel nastavení</p> <div> <p>A</p> <p>N</p> <p>E</p> <p>H</p> <p>J</p> <p>K</p> </div>				<p>2a</p> <p>Délka vyložení</p> <p>l [mm]</p>				<p>3a</p> <p>Typ upín. stopky</p> <div> <p>A DIN 1835/1-A</p> <p>B ISO 3338/B DIN 1835/1-B ČSN 22 0412</p> <p>E ISO 296 DIN 228/A ČSN 22 0420</p> <p>G ISO 297 DIN 2080/1 ČSN 22 0430</p> <p>X ČSN 22 0432</p> <p>H ISO 7388/1 DIN 69871/A ČSN 22 0434</p> </div>				<p>4a</p> <p>Velikost stopky</p> <table> <tr> <th>$\varnothing D$</th> <th>$\varnothing d$</th> </tr> <tr> <td>08 + 32</td> <td>10 + 32</td> </tr> <tr> <th>$\varnothing D$</th> <th>$\varnothing d$</th> </tr> <tr> <td>10; 12; 16</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>32; 40</td> <td>32</td> </tr> <tr> <th>$\varnothing D$</th> <th>MORSE No.</th> </tr> <tr> <td>10; 12; 16</td> <td>02</td> </tr> <tr> <td>20; 25; 32</td> <td>03</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>04</td> </tr> <tr> <th>$\varnothing D$</th> <th>7:24 No.</th> </tr> <tr> <td>32; 40</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>(50; 63)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>50; 63; 80</td> <td>50</td> </tr> <tr> <th>$\varnothing D$</th> <th>7:24 No.</th> </tr> <tr> <td>32; 40</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>5</td></tr></table>	$\varnothing D$	$\varnothing d$	08 + 32	10 + 32	$\varnothing D$	$\varnothing d$	10; 12; 16	16	20	20	25	25	32; 40	32	$\varnothing D$	MORSE No.	10; 12; 16	02	20; 25; 32	03	40	04	$\varnothing D$	7:24 No.	32; 40	40	(50; 63)	50	50; 63; 80	50	$\varnothing D$	7:24 No.	32; 40	40	5																																																								
$\varnothing D$	$\varnothing d$																																																																																																						
08 + 32	10 + 32																																																																																																						
$\varnothing D$	$\varnothing d$																																																																																																						
10; 12; 16	16																																																																																																						
20	20																																																																																																						
25	25																																																																																																						
32; 40	32																																																																																																						
$\varnothing D$	MORSE No.																																																																																																						
10; 12; 16	02																																																																																																						
20; 25; 32	03																																																																																																						
40	04																																																																																																						
$\varnothing D$	7:24 No.																																																																																																						
32; 40	40																																																																																																						
(50; 63)	50																																																																																																						
50; 63; 80	50																																																																																																						
$\varnothing D$	7:24 No.																																																																																																						
32; 40	40																																																																																																						
5																																																																																																							

PŘÍLOHA 2

ISO systém značení vyměnitelných břitových destiček 1/2 [7]

1			
Tvar destičky Tvar doštičky			
H	O	P	R
S	T	C	D
E	M	V	W
L	A	B	K

2	
Úhel hřbetu Uhol chrbta	
A	B
C	D
E	F
G	N
P	O

4	
Provedení Prevedenie	
N	R
F	A
M	G
W	T
Q	X

ISO

1	2	3	4
S	P	G	N
S	P	K	N

ANSI

1	2	3	4
S	P	G	
S	P	K	N

3

Tolerance Tolerancia						
Označení Označenie	Tolerance / Tolerancia [mm]			Tolerance / Tolerancia [palce]		
	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)
A	0,005	0,025	0,025	0,0002	0,001	0,0010
F	0,005	0,025	0,013	0,0002	0,001	0,0005
C	0,013	0,025	0,025	0,0005	0,001	0,0010
H	0,013	0,025	0,013	0,0005	0,001	0,0005
E	0,025	0,025	0,025	0,0010	0,001	0,0010
G	0,025	0,130	0,025	0,0010	0,005	0,0010
J	0,005	0,025	0,05 ± 0,13	0,0002	0,001	0,002 ± 0,005
K	0,013	0,025	0,05 ± 0,13	0,0005	0,001	0,002 ± 0,005
L	0,025	0,025	0,05 ± 0,13	0,0010	0,001	0,002 ± 0,005
M	0,08 ± 0,18	0,130	0,05 ± 0,13	0,003 ± 0,007	0,005	0,002 ± 0,005
N	0,08 ± 0,18	0,025	0,05 ± 0,13	0,003 ± 0,007	0,001	0,002 ± 0,005
U	0,05 ± 0,38	0,130	0,05 ± 0,13	0,005 ± 0,015	0,005	0,003 ± 0,010

ISO systém značení vyměnitelných břitových destiček 2/2 [7]

5								6		7	
Délka řezné hrany Dłzka reznej hrany								Tloušťka Hrúbka		Úhel nastavení Uhol nastavenia	Úhel hřbetu fazetky Uhol chrôba fazetky
d = I.C.		R	S	T	C	D	V				
mm	palce										
3,97	5/32"			06							
5,00	-	05									
5,56	7/32"			09							
6,00	-	06									
6,35	1/4"			11	06	07					
8,00	-	08									
9,525	3/8"	09	09	16	09	11	16				
10,0	-	10									
12,0	-	12									
12,7	1/2"	12	12	22	12	15					
15,875	5/8"	15	15	27	16						
16,0	-	16									
19,05	3/4"	19	19	33	19						
20,0	-	20									
25,0	-	25									
25,4	1"	25	25		25						
31,75	1 1/4"	31									
32,0	-	32									

Označení	s	
Označení	[mm]	[palce]
01	1,59	1/16"
T1	1,98	5/64"
02	2,38	3/32"
03	3,18	1/8"
T3	3,97	5/32"
04	4,76	3/16"
05	5,56	7/32"
06	6,35	1/4"
07	7,94	5/16"
09	9,52	3/8"

Ozn.	χ_r	Ozn.	α_n
A	45°	A	3°
D	60°	B	5°
E	75°	C	7°
F	85°	D	15°
P	90°	E	20°
Z	Spec./Spec.	F	25°
		G	30°
		N	0°
		P	11°
		Z	Spec./Spec.

ZZ - Speciální / Speciálny

5	6	7	8	9
12	03	08		
12	03	ED	S	R

5a	6a	7a	8	9
4	2	2		
4	2	ED	S	R

ANSI

5a

Vepsaná kružnice
Vpísaná kružnica

Ozn.	d = I.C.	
	[mm]	[palce]
1	3,175	1/8"
(1.2)	3,969	5/32"
(1.5)	4,763	3/16"
(1.8)	5,556	7/32"
2	6,350	1/4"
(2.5)	7,938	5/16"
3	9,525	3/8"
4	12,700	1/2"
5	15,875	5/8"
6	19,050	3/4"
7	22,225	7/8"
8	25,400	1"
10	31,750	5/8"

6a

Tloušťka
Hrúbka

Ozn.	s	
	[mm]	[palce]
1	1,588	1/16"
(1.2)	1,984	5/64"
(1.5)	2,381	3/32"
(1.8)	3,175	1/8"
2	3,969	5/32"
(2.5)	4,763	3/16"
3	5,556	7/32"
4	6,350	1/4"
5	7,938	5/16"
6	9,525	3/8"
7	11,113	7/16"
8	12,700	1/2"
9	14,288	9/16"
10	15,875	5/8"

7a

Rádus špičky
Rádus hrotu

Ozn.	r	
	[mm]	[palce]
0	0,050	1/512"
(0.2)	0,099	1/256"
(0.5)	0,198	1/128"
1	0,397	1/64"
2	0,794	1/32"
3	1,191	3/64"
4	1,588	1/16"
5	1,984	5/64"
6	2,381	3/32"
7	2,778	7/64"
8	3,175	1/8"
10	3,969	5/32"
12	4,763	3/16"
14	5,556	7/32"
16	6,350	1/4"
x	ostat.	

8	
Provedení řezné hrany / Provedenie reznej hrany	
	Ostře hrany
	Hrany s fazetkou
	Hrany s dvojitou fazetkou
	Zaoblené hrany
	Zaoblené hrany s fazetkou
	Zaoblené hrany s dvojitou fazetkou

9	
Směr posuvu / Smer posuvu	
R	
L	
N	